

전도성 폴리머의 재료 특성 분석 및 잉크젯 기술을 이용한 저항 제작 Characterization of a Conductive Polymer and Resistor Fabrication Using Ink-jet Technology

*이상호, #강희석, 황준영, 박문수, 강경태, 이규봉

*S. -H. Lee, #H. S. Kang(hskang@kitech.re.kr), J. -Y. Hwang, M. S. Park, K. T. Kang, G. B. Lee
한국생산기술연구원

Key words : Ink-jet technology, resistor, PEDOT, Conductive polymer

1. 서론

전자산업에서 패턴을 형성하는 방식은 식각 마스크를 통해 이루어진다. 먼저 원하는 물질을 증착한 후 사진공정(photolithography)을 통하여 원하는 패턴의 감광제 식각마스크(etch mask)를 형성한다. 그 다음 습식식각이나 건식식각을 통하여 물질의 불필요한 부분을 제거한 후 최종적으로 감광제 식각마스크를 제거하여 원하는 물질의 패턴을 얻게 된다. 최근에 소개된 잉크젯 프린팅 기술은 나노 잉크를 이용하여 사진공정과 식각공정을 이용하지 않고, 직접 나노잉크를 분사하여 패턴을 형성하는 방법으로, 패턴링 공정을 단순화 시킬 수 있을 뿐만 아니라 각종 전자 산업의 환경오염물을 획기적으로 줄일 수 있는 친환경기술이다. 특히, OLED, O-TFT, RF-ID, PCB 분야 등 다양한 전자산업분야의 제조기술로서 응용하고자, 전도성 폴리머나 실버(silver) 나노파티클 잉크를 이용한 전도성 라인 패턴링(line patterning)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3].

본 연구에서는 BAYTRON[®]P 를 기본으로 합성된 전도성 폴리머(PEDOT:PSS)를 잉크재료로 선정하여 비저항, 면저항을 측정 분석하였으며, 잉크젯 분사를 위해서 압접구동 전압 및 인가 시간, 압력 등 jetting 조건을 검출하였다. Flexible printed circuit board 기판 재료로 쓰이는 polyimide 기판 위에 전도성 폴리머를 잉크젯 기법을 이용하여 전기 저항을 제작, 측정함으로써 잉크젯 기법의 전기소자제작 가능성을 검토하였다.

2. 실험 재료 및 방법

본 연구에서 사용된 전도성 폴리머는 poly(3,4-ethylene dioxithiophene)poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS)이다[4]. H.C.Starck Inc.(MA, USA)에서 제공하는 BAYTRON[®]P 와 기타 폴리머, 그리고 솔벤트를 Table 1 의 조성비로 혼합하여 제조된 전도성 폴리머 PEDOT:PSS 를 인스콘사(InsCon Tech Co., Korea)로부터 제공받았다. 점도는 27 cP 표면장력은 29 dyne/cm 로 측정되었다[5]. 기판은 내열성이 강한 polyimide (PI) 필름과 유리기판을 사용 하였다.

Table 1 Chemical composition of PEDOT:PSS

Component	Weight %
BAYTRON [®] P	42.92
N-Methy-2-pyrrolidone	2.58
Silquest [®] A187 TM	0.86
Isopropanol	53.34
Dynol TM 604	0.30

분사 장비는 MicroFab Inc. (Plano, TX, USA) 사의 50 μ m 오리피스 직경을 갖는 싱글노즐 잉크젯 시스템을 사용하였다. x-y 스테이지에는 스텝모터로 구동되며 PTC 온도조절 장치가 일체화되어 기판의 온도를 제어할 수 있도록 하였다.

분사된 잉크 액적을 관찰하기 위해서 잉크젯 구동용 신호와 동기화된 고휘도 LED 광원 및 CCD 카메라를 이용하여 인가 구동신호에 따른 액적의 크기, 속도, 궤적 등의 분사 특성을 관찰하였다.

PEDOT:PSS 의 비저항을 얻기 위해서 회전도포(spinner-coating)법을 이용하여 박막으로 제조한 후 면저항(sheet resistance)과 두께를 측정하여 식(1)로부터 비저항 값을 계산하였다. 두께 변화에 따른 면저항과 비저항 값의 변화를 측정하기 위해서 스피너코터의 회전수를 250, 500, 750, 1000 rpm 으로 변화시켜 두께를 변화 시켰다. Curing 공정은 모두 시편에 대하여 동일하게 200 $^{\circ}$ C에서 1 분 동안 수행하였다. 박막의 두께를 측정하기 위하여 주사전자현미경으로 단면을 촬영하였으며, 면저항은 4-point probe 를 이용하여 측정하였다.

$$\rho = R_s \times t \quad (1)$$

ρ = specific resistance, R_s = sheet resistance, t = thickness

저항 제작 후 선폭과 두께를 광학식 현미경과 접촉식 surface profiler 를 이용하여 측정하였다. 길이 8mm 의 저항을 선폭을 변화 시키면서 제작하여 실제 측정값을 측정하였으며, 식(2)에 의하여 계산된 값과 비교, 검토하였다.

$$R = \rho L/A \quad (2)$$

R = resistance, ρ = specific resistance,
 L = length, A = cross-sectional area

3. 실험 결과

PEDOT:PSS 의 두께를 변화시키면서 면저항값과 식(2)로부터 계산된 비저항값의 변화를 조사하였다. Fig.1 은 유리기판위에 코팅된 PEDOT CPP-105D 의 면저항과 비저항값을 나타내며, Fig. 2 는 PI 필름 위에 코팅된 박막의 면저항과 비저항값을 나타낸다. 실험결과로부터 알 수 있듯이, PI 필름에 코팅된 박막의 면저항값은 유리기판에 코팅된 박막에 비해 10 배정도 높았으며, 비저항 값은 공히 $0.5 \sim 1 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 정도로 측정되었다.

저항소자는 잉크 분사 실험에서 최적화된 분사 조건으로 PI 필름 위에 PEDOT:PSS 를 분사 프린팅하여 제작하였다. 설계된 저항의 길이는 8mm 이며, 잉크젯 분사회수를 조절하여 저항의 폭을 변화시켰다. Fig. 3 은 제작된 저항의 현미경사진을 보여준다. 제작된 PEDOT:PSS 저항의 선폭은 약 79.53 μ m, 178.91 μ m, 253.51 μ m 이며, 두께는 약 120 nm, 206 nm, 300 nm 로 측정되었다.

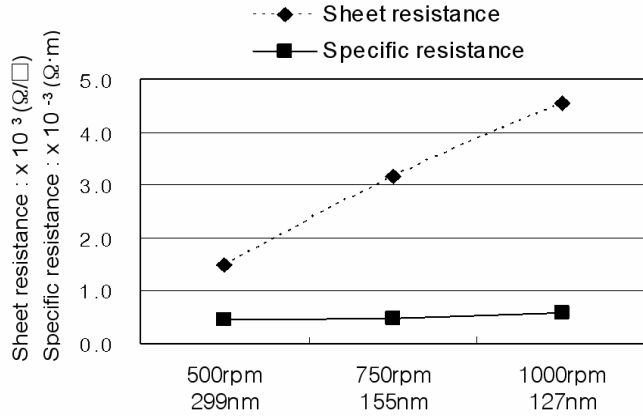


Fig. 1 Sheet resistance and specific resistance of PEDOT:PSS versus thickness coated on a glass.

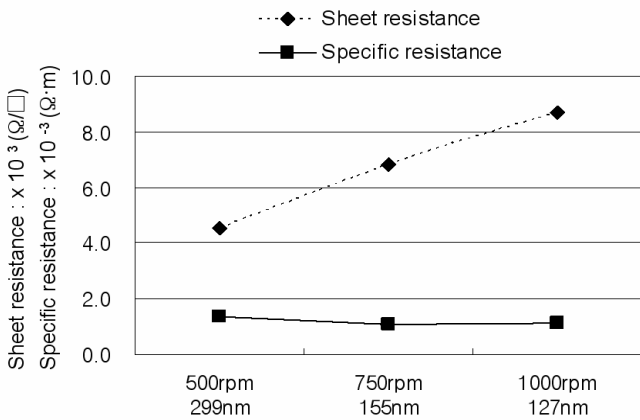


Fig. 2 Sheet resistance and specific resistance of PEDOT:PSS versus thickness coated on a PI film.

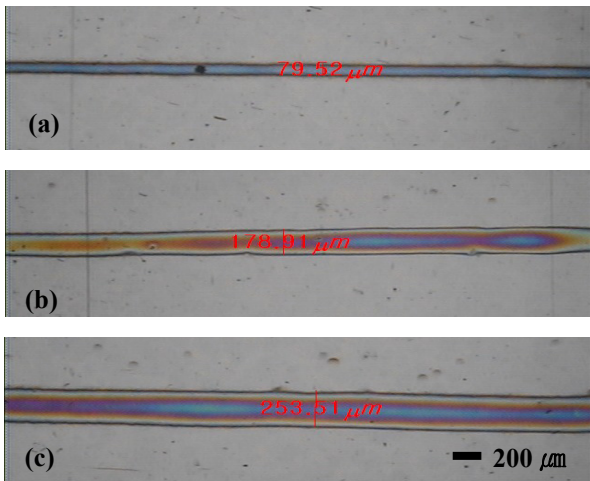


Fig. 3 Optical microscopic-images of the printed resistors: (a) 79.53 μm wide and 0.12 μm thick resistor 1, (b) 178.91 μm wide and 0.26 μm thick and resistor 2 and (c) 253.51 μm wide and 0.3 μm thick resistor 3.

제작된 저항에 대하여 단면적, 길이, 비저항 등을 사용하여 식 (2)에 의해 계산된 저항값과 실제 측정된 저항값을 Fig. 4에 비교 도시하였다. 제작된 저항값은 3 k Ω 에서 수 M Ω 의 범위를 갖으며, 2.5 M Ω 으로 가장 높은 값을 갖는 resistor 1의 경우 계산값과 측정값의 오차가 2% 정도로 거의 일치 하였으며, resistor 2와 resistor 3은 계산값에 대하여 측정값이 50% 정도의 오차를 나타내었다.

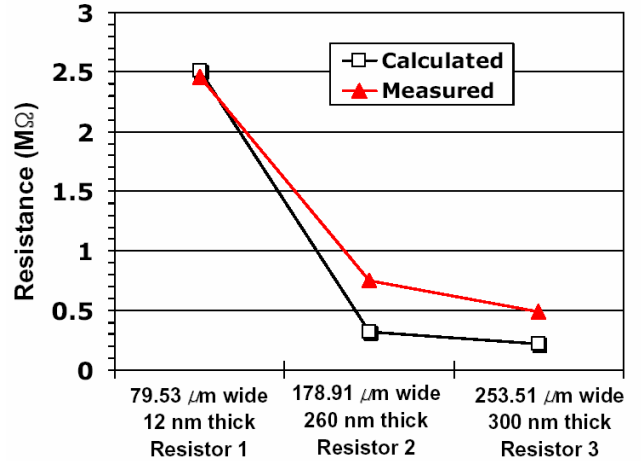


Fig. 4 Resistance of the printed resistors.

4. 결론

저항 제작을 위해 전도성 폴리머인 PEDOT:PSS 잉크의 비저항, 면저항을 박막두께 변화에 대하여 측정 분석하였다. 실험결과로부터 기판에 상관없이 비저항값은 비교적 일정한 값을 가짐을 확인할 수 있었지만, 면저항값은 PI 필름에 코팅된 박막이 유리기판에 비해 10 배정도 높음을 알 수 있었다. 8mm 길이의 PEDOT:PSS 저항을 PI 필름 기판에 잉크젯 프린팅하여 제작하였으며, 선폭은 약 79.53 μm , 178.91 μm , 253.51 μm 으로 변화시켰다. 제작된 PEDOT:PSS 저항의 값은 3k Ω 에서 수 M Ω 을 갖는 것으로 측정 되었으며, 측정값과 계산값을 비교한 결과, 제작된 저항 중 가장 높은 저항값(~2.5 M Ω)을 갖는 저항의 경우, 2% 정도의 작은 오차를 보여 저항 제조 기술로서의 잉크젯기술의 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 전도성 폴리머를 이용한 전자부품으로서의 신뢰성과 정밀도를 확보하기 위한 공정기술 및 성능검사에 관한 연구가 진행될 계획이다.

후기

본 연구는 G7 첨단생산시스템개발사업의 기술료 활용 사업의 지원으로 진행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] B.-J. de Gans, P. C. Duineveld, and U. S. Schubert, "Inkjet Printing of Polymers: State of the Art and Future Developments," *Adv. Mater.*, Vol. 16, No. 3, pp. 203-213, 2004.
- [2] B.-J. de Gans and U. S. Schubert, "Inkjet Printing of Polymer Micro-Arrays and Libraries: Instrumentation, Requirements, and Perspectives," *Macromol. Rapid Commun.*, Vol. 24, pp. 659-666, 2003.
- [3] J. Fukai, H. Ishizuka, Y. Sakai, M. Kaneda, M. Morita, and A. Takahara "Effects of Droplet size and Solute Concentration on Drying Process of Polymer Solution Droplets Deposited on Homogeneous Surface," *Int. J. Heat Mass Trans.*, Vol. 49, pp. 3561-3567, 2006.
- [4] Y. Liu, K. Varahramyan, and T. Cui, "Low-Voltage All-Polymer Field-Effect Transistor Fabricated Using an Inkjet Printing Technique," *Macromol. Rapid Commun.*, Vol. 26, pp. 1955-1959, 2005.
- [5] 심형섭, 이상호, 강희석, 강신일 "잉크젯 기술을 이용한 저항 제작을 위한 잉크 재료의 특성 분석," *한국정밀공학회 춘계학술대회논문집*, 2006, pp.117-178.